

F-001



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 31 419 A1 2004.01.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 31 419.9

(22) Anmeldetag: 10.07.2003

(43) Offenlegungstag: 22.01.2004

(51) Int Cl.⁷: G01N 23/06

G01B 15/00, A61B 6/03

(30) Unionspriorität:
030153373 08.07.2003 EP

(66) Innere Priorität:
102 31 896.4 12.07.2002

(71) Anmelder:
MYCRONA Gesellschaft für innovative
Messtechnik mbH, 66793 Saarwellingen, DE

(74) Vertreter:
Mierswa, K., Dipl.-Ing., Pat.- u. Rechtsanw., 68199
Mannheim

(72) Erfinder:
Schroeder, Mario, 66346 Püttlingen, DE; Schmidt,
Wolfram, 66125 Saarbrücken, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes

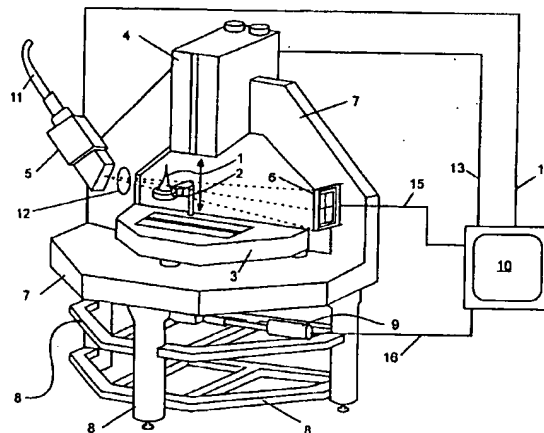
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem. Es werden ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf diese bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet, wobei gemäß einer Variante

a) im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjektes bestimmt werden,

b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes vorgegeben wird,

c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im MG-Koordinatensystem bestimmt wird,

d) und das Untersuchungsobjekt unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt.



Original document

0-002

Processes and a device for determining the actual position of a structure of an object to be examined

Publication number: DE10331419

Publication date: 2004-01-22

Inventor: SCHROEDER MARIO (DE); SCHMIDT WOLFRAM (DE)

Applicant: MYCRONA GES FUER INNOVATIVE ME (DE)

Classification:

- international: **A61B6/03; G01B21/04; A61B6/03; G01B21/02;** (IPC1-7): G01N23/06; A61B6/03; G01B15/00

- european:

Application number: DE20031031419 20030710

Priority number(s): DE20031031419 20030710; DE20021031896 20020712; EP20030015337 20030708

Also published as:

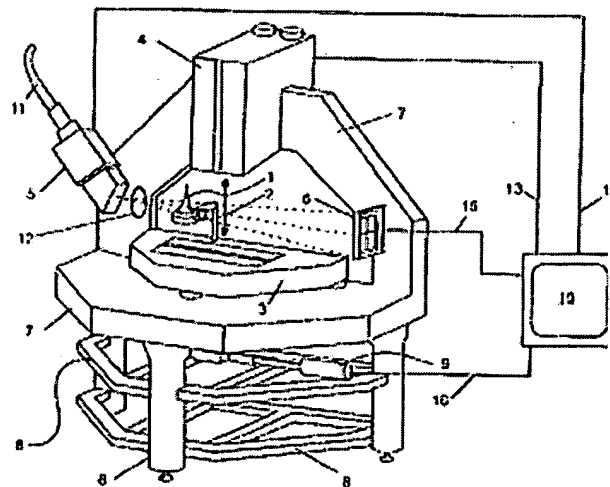
US2004234025 (A)

View INPADOC patent familyReport a data error he

Abstract not available for DE10331419

Abstract of corresponding document: **US2004234025**

The invention relates to processes and to a device for determining the actual position of a structure of an object to be examined in a coordinate system. A CT scanner is employed which uses CT technology, having a first coordinate system, the CT coordinate system, related to said CT scanner, and a coordinate measuring instrument (MI) is employed which is either a tactile or an optical coordinate measuring instrument or a multisensor coordinate measuring instrument or an ultrasonic coordinate measuring instrument, having a second coordinate system, the MI coordinate system, related to said coordinate measuring instrument, whereby according to a variant, a) the coordinates of the object to be examined are determined in the MI coordinate system, b) a target position of the structure within the object to be examined is predefined, c) after the execution of steps a) and b), the target position is determined in the MI coordinate system, d) and, using the result of step c), the object to be examined is positioned in such a way that the target position of



the structure comes to lie within the volume
detected by the CT scanner.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of **DE10331419**

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem.

Stand der Technik

[0002] Computer-Tomographen dienen zur Erstellung von dreidimensionalen Bildern, nämlich so genannten CT-Bildern, von Objekten, z. B. Werkstücken oder menschlichen Körpern oder Körperteilen, wobei diese Bilder auch innere Strukturen des Objektes zeigen.

[0003] In der Computer-Tomographie-Technik, abgekürzt CT-Technik, werden mit Hilfe von Röntgenstrahlen Aufnahmen eines Objekts oder eines Teils desselben aus vielen verschiedenen Richtungen hergestellt, d. h. das Objekt wird nacheinander aus vielen verschiedenen Richtungen durchleuchtet. Ein Computer-Tomograph, im Folgenden mit CT abgekürzt, verfügt daher über eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor, z. B. CCD-Matrix, welcher für die von der Röntgenquelle abgegebene Strahlung empfindlich ist. Die Röntgenquelle gibt Strahlung von typischerweise z. B. 450 keV ab. Zwischen Röntgenquelle und Detektor wird das Objekt angeordnet und schrittweise gegenüber der Röntgenquelle bzw. dem Schirm gedreht, oder es wird umgekehrt der CT schrittweise um das Objekt gedreht, welches in diesem Fall in Ruhe bleibt.

[0004] In den Fällen, in welchen nicht der CT, sondern das Objekt gedreht wird, verfügt der CT in der Regel über einen Objektträgertisch, auf welchem das Objekt angeordnet ist. Der Objektträgertisch ist so verfahrbar, dass sich das Objekt in den Strahlengang der Röntgenstrahlung einbringen lässt. Ferner ist d Objektträgertisch rotierbar, so dass das Objekt zur Erstellung des CT-Bildes gedreht werden kann. Typischerweise wird das Objekt z. B. in Schritten von je 0,9[deg.] gedreht, so dass 400 Rotationsschritte eine volle Umdrehung des Objektes

Technisches Gebiet

[0005] Die Erfindung bezieht sich auf Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem.

Stand der Technik

[0006] Computer-Tomographen dienen zur Erstellung von dreidimensionalen Bildern, nämlich so genannten CT-Bildern, von Objekten, z. B. Werkstücken oder menschlichen Körpern oder Körperteilen, wobei diese Bilder auch innere Strukturen des Objektes zeigen.

[0007] In der Computer-Tomographie-Technik, abgekürzt CT-Technik, werden mit Hilfe von Röntgenstrahlen Aufnahmen eines Objekts oder eines Teils desselben aus vielen verschiedenen Richtungen hergestellt, d. h. das Objekt wird nacheinander aus vielen verschiedenen Richtungen durchleuchtet. Ein Computer-Tomograph, im Folgenden mit CT abgekürzt, verfügt daher über eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor, z. B. CCD-Matrix, welcher für die von der Röntgenquelle abgegebene Strahlung empfindlich ist. Die Röntgenquelle gibt Strahlung von typischerweise z. B. 450 keV ab. Zwischen Röntgenquelle und Detektor wird das Objekt angeordnet und schrittweise gegenüber der Röntgenquelle bzw. dem Schirm gedreht, oder es wird umgekehrt der CT schrittweise um das Objekt gedreht, welches in diesem Fall in Ruhe bleibt.

[0008] In den Fällen, in welchen nicht der CT, sondern das Objekt gedreht wird, verfügt der CT in der

Regel über einen Objektträgertisch, auf welchem das Objekt angeordnet ist. Der Objektträgertisch ist so verfahrbar, dass sich das Objekt in den Strahlengang der Röntgenstrahlung einbringen lässt. Ferner ist der Objektträgertisch rotierbar, so dass das Objekt zur Erstellung des CT-Bildes gedreht werden kann.

Typischerweise wird das Objekt z. B. in Schritten von je 0,9[deg.] gedreht, so dass 400 Rotationsschritte eine volle Umdrehung des Objektes ausmachen. Die Auflösung ist begrenzt. Dies ist insbesondere auf den endlichen Durchmesser der Austrittspupille der Röntgenquelle und auf die begrenzte Zahl der Pixel der CCD-Matrix zurückzuführen; typisch wird eine relative laterale Auflösung von z. B. 1 : 4000 erreicht.

[0009] Eine Struktur des Objektes, deren Ausdehnung z. B. 1% der Objektgröße beträgt, wird daher in diesem Fall nur mit einer relativen Auflösung von 1 : 40 abgebildet, was in den meisten Fällen für eine detaillierte Vermessung der Struktur unzureichend ist.

[0010] Daher kann das CT-Bild des Objektes dazu herangezogen werden, um den Ort der Struktur innerhalb des Objektes in Bezug auf das Koordinatensystem des CT zu ermitteln und eine zweite Computer-Tomographie des Objektes durchzuführen und dabei den CT so zu steuern, dass nur die näher Umgebung der Struktur von dem CT erfasst wird und von dieser Umgebung ein zweites CT-Bild, mit erhöhtem Vergrößerungsfaktor, erstellt wird. Hierdurch wird die relative Auflösung des Bildes der Struktur gesteigert, d. h. es werden mehr Details der Struktur sichtbar.

[0011] Auch hiermit sind jedoch Nachteile verbunden. Beispielsweise ist es aufwendig, den Ort innerhalb des Objektes aus dem ersten CT-Bild zu bestimmen. Darüber hinaus ist eine derartige Lokalisierung der Struktur ungenau, da nicht nur die Struktur selbst, sondern auch die Oberfläche des Objektes nur mit der begrenzten Auflösung des CT erfasst werden, wodurch sich die entsprechenden Messunsicherheiten vergrößern.

[0012] Ferner wird zur Erstellung des zweiten CT-Bildes zusätzliche Zeit benötigt. Dieser zusätzliche Zeitaufwand stellt angesichts der sehr hohen Betriebskosten eines CT einen erheblichen Kostenfaktor bei der Vermessung der Struktur dar.

[0013] Darüber hinaus wird das Objekt zur Erstellung des zweiten CT-Bildes erneut mit einer bestimmten Dosis an ionisierender Strahlung beaufschlagt. Dies ist insbesondere dann nachteilig bzw. problematisch, wenn das Objekt aus lebender biologischer Materie besteht. Auch auf tote Materie kann die erneute Strahlenbelastung nachteilig einwirken. Ionisierende Strahlung kann beispielsweise Alterung, Umwandlung, Verfärbung oder Zersetzung von Kunststoffen auslösen, auf Kristallstrukturen verändern, einwirken oder elektronische Bausteine zerstören.

Technische Aufgabe

[0014] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, welche eine Lokalisierung und Untersuchung einer Struktur eines Objektes mit verringertem Zeitaufwand, erhöhter Genauigkeit und reduzierter Strahlenbelastung des Objektes ermöglichen.

[0015] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktisches oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei

- a) im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjektes bestimmt werden,
- b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes vorgegeben wird,
- c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im MG-Koordinatensystem bestimmt wird,
- d) und das Untersuchungsobjekt unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt.

[0016] Die Aufgabe wird des Weiteren gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in

Anwendung der CT-Technik mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei

- a) im CT-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts bestimmt werden,
- b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben wird,
- c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im CT-Koordinatensystem bestimmt wird,
- d) und das Untersuchungsobjekt unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereichs zu liegen kommt.

[0017] Die Aufgabe wird ferner gelöst durch eine Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem, mit einem Computer-Tomographen mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und einem Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts bestimmbar sind und eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist, so dass die Soll-Position im MG-Koordinatensystem bestimmbar ist und das Untersuchungsobjekt so positionierbar ist, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt, wobei der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmessgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert sind.

[0018] Das erste Koordinatensystem ist also das CT-Koordinatensystem, welches auf den Computer-Tomographen bezogen ist. Das zweite Koordinatensystem ist das MG-Koordinatensystem; dieses ist auf das Koordinatenmessgerät bezogen.

[0019] Bei den erfindungsgemässen Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem werden also ein Computer-Tomograph mit einem auf dieses bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet.

[0020] Die erfindungsgemässe Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem umfasst einen Computer-Tomographen mit einem auf dieses bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem.

[0021] Gemäss einer Variante des Verfahrens wird bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts die Soll-Position der Struktur enthält.

[0022] Gemäss einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist daher bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts die Soll-Position der Struktur enthält.

[0023] Die ausgewählten Punkte können sich insbesondere auf der Oberfläche des Untersuchungsobjekts befinden. Die ausgewählten Punkte können markiert werden, beispielsweise mittels Farbe, um ihre

Erfassung im MG-Koordinatensystem zu erleichtern. Eine andere Möglichkeit besteht darin, als ausgewählte Punkte solche zu verwenden, welche auf Grund der Geometrie bzw. der Gestalt des Untersuchungsobjekts ausgezeichnet sind, z. B. Eckpunkte.

[0024] In einer Variante des Verfahrens wird bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmessgeräts so positioniert, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegen.

[0025] Gemäss einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist daher bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegen.

[0026] Die Ist-Position der Struktur kann z. B. infolge von Fertigungstoleranzen von der Soll-Position abweichen. In der Praxis ist es oftmals möglich, die maximal zu erwartende oder mögliche Abweichung Ist-Position von der Soll-Position der Struktur anzugeben.

[0027] Gemäss einer Variante des Verfahrens ist die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, wobei das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert wird, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt.

[0028] In einer Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung ist die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, wobei das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar ist, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt.

[0029] Insbesondere kann das Toleranzvolumen eine Kugel, Toleranzkugel, sein, deren Mittelpunkt mit der Soll-Position zusammenfällt und deren Radius durch den Betrag der maximalen Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur vorgegeben ist.

[0030] Gemäss einer Variante des Verfahrens wird das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert, dass das vom Computer-Tomographen erfasste Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise grösser als 1 ist.

[0031] In einer Variante der erfindungsgemässen Vorrichtung ist das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar, dass das vom Computer-Tomographen erfasste Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise grösser als 1 ist.

[0032] Beispielsweise kann das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert werden, dass das vom Computer-Tomographen erfasste Volumen höchstens den doppelten Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, was bedeutet, dass die Zahl x in diesem Beispiel gleich 2 ist.

[0033] Gemäss einem anderen Beispiel wird das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert, dass das vom Computer-Tomographen erfasste Volumen höchstens den Vierfachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, was bedeutet, dass die Zahl x in diesem Beispiel gleich 4 ist.

[0034] Gemäss einer Variante wird

- bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält,
- bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des

Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich liegen, wobei die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzbereichs befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert, dass der Toleranzbereich vollständig in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich liegt.

[0035] Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem können vorgegeben sein oder durch Einmessung ermittelt werden. Gemäss einer Ausführungsform sind daher die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem vorgegeben oder durch Einmessung ermittelbar.

[0036] Gemäss einer Variante werden folgende Schritte ausgeführt:

- (i) mittels des Koordinatenmessgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt (i) erzielten Messergebnisse berechnet, und
- (iii) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so dass anschliessend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist.

[0037] Gemäss einer Ausführungsform ist

- (i) mittels des Koordinatenmessgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar,
- (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der gemäss (i) erzielten Messergebnisse berechenbar, und
- (iii) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar, so dass die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.

[0038] Gemäss einer Variante wird das Untersuchungsobjekt gegenüber dem Computer-Tomographen unter Verwendung der gemäss Schritt (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen befindet.

[0039] Gemäss einer Ausführungsform der Erfindung ist daher das Untersuchungsobjekt gegenüber dem Computer-Tomographen unter Verwendung der gemäss (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so steuerbar, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen befindet.

[0040] Gemäss einer Variante wird mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmt.

[0041] Gemäss einer Ausführungsform ist daher mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur erstellbar und als CT-Datensatz speicherbar und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar.

[0042] Gemäss einer Variante wird

- (i) mittels des Computer-Tomographen die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes bezüglich des CT-Koordinatensystems bestimmt,
- (ii) die auf das CT-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der im Schritt (i) erzielten Messergebnisse berechnet,
- (iii) die Soll-Position der Struktur vom CT-Koordinatensystem auf das MG-Koordinatensystem umgerechnet, so dass anschliessend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist,

- (iv) das Untersuchungsobjekt gegenüber dem Koordinatenmessgerät unter Verwendung der gemäss Sch (iii) erhaltenen, auf das MG-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich befindet, und
- (v) mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes ein dreidimensionales digitales Bild des Toleranzbereichs einschliesslich der Struktur erstellt und als MG-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im MG-Koordinatensystem aus dem MG-Datensatz bestimmt.

[0043] Gemäss einer bevorzugten Variante des erfindungsgemässen Verfahrens wird als Computer-Tomograph ein solcher verwendet, welcher eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Grösse der aktiven Sensor- oder Detektorfläche gegeben ist, die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z. B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist. Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem sind hierbei entweder bereits bekannt oder werden durch Einmessung ermittelt.

[0044] Das Koordinatenmessgerät kann ein taktils, d. h. auf mechanischer Abtastung beruhendes, oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein z. B. lasergestütztes Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät sein. Das Koordinatenmessgerät kann also insbesondere ein solches sein, welches nicht imstande ist, innere Strukturen des Untersuchungsobjektes zu erfassen.

[0045] Gemäss dieser Variante werden folgende Schritte ausgeführt:

- a) Mittels des Koordinatenmessgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,
- b) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt erzielten Messergebnisse berechnet,
- c) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bekannt ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes bezüglich des Computer-Tomographen wird unter Verwendung der gemäss Schritt c) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist,
- e) mit Hilfe des Computer-Tomographen wird ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert, und
- f) die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem wird aus dem CT-Datensatz bestimmt.

[0046] Dies bedeutet, dass der CT mit Hilfe der durch das Koordinatenmessgerät durchgeführten Messungen, der relativen Lage und der relativen Orientierung von CT-Koordinatensystem und MG-Koordinatensystem der CT vorteilhafterweise so gesteuert werden kann, dass sich die Struktur von vornherein in dem vom CT erfassten und abgebildeten Bereich des Untersuchungsobjektes befindet.

[0047] Gemäss einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemässen Vorrichtung weist der Computer-Tomograph eine Röntgenquelle und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor auf, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Grösse der aktiven Detektorfläche gegeben ist, die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z. B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und die relative Lage und die relative Orientierung

des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt oder durch Einmessung ermittelbar sind, wobei

- a) mittels des Koordinatenmessgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar ist,
 - b) hieraus die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar ist,
 - c) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar ist, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist,
 - d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes bezüglich des Computer-Tomographen unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung so steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist, und
 - e) der Computer-Tomograph imstande ist, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern,
- so dass die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

[0048] Mit aktiver Detektorfläche ist diejenige Fläche des Detektors gemeint, die zur Registrierung der Röntgenstrahlung von der Röntgenquelle nutzbar ist. Unter dem Bildfeld des Computer-Tomographen wird hierbei die Ausdehnung der Projektion des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens auf der Ebene der Detektorfläche verstanden.

[0049] Somit ist erfindungsgemäss die Möglichkeit geschaffen, den Computer-Tomographen, abgekürzt CT, bei so hoher Vergrösserung zu betreiben, dass er nicht mehr das ganze Untersuchungsobjekt synchron abbilden kann, und hierbei die Relativposition zwischen CT und Untersuchungsobjekt von vornherein so zu steuern, dass vorteilhafterweise immer das Toleranzvolumen und somit auch die Struktur vom CT erfasst wird.

[0050] Zur Bestimmung der auf das MG-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur ist die Vermessung von mindestens drei ausgewählten Punkten des Untersuchungsobjektes bezüglich des MG-Koordinatensystems erforderlich; werden mehr als drei Punkte auf die genannte Weise vermessen, so lassen sich die zusätzlichen Messergebnisse vorteilhaft zur Verringerung des mittleren Fehlers und damit zur Erhöhung der erzielten Genauigkeit verwenden.

[0051] Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die äussere Form von Werkstücken oder anderen Objekten z. B. in der Serienproduktion in vielen Fällen routinemässig ohnehin mit einem taktilen oder optischen Koordinatenmessgerät oder mit einem Multisensor-Koordinatenmessgerät vermessen wird, z. zum Zweck der Produktionsüberwachung. Die Ergebnisse des Schrittes a) stehen in diesen Fällen von vornherein zur Verfügung, so dass der Schritt a) keinen zusätzlichen Aufwand mit sich bringt.

[0052] Das Toleranzvolumen kann insbesondere rotationssymmetrisch, d. h. eine Toleranzkugel sein, so dass deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

[0053] Gemäss einer zweckmässigen Variante der Erfindung wird der Computer-Tomograph im Verfahrensschritt d) so gesteuert, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfassbaren Volumens befindet. Bevorzugt ist daher der Computer-Tomograph so steuerbar, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfassbaren Volumens befindet.

[0054] Dies bedeutet, dass der CT erfindungsgemäss so gesteuert wird, dass sich die Soll-Position der Struktur vorteilhafterweise von vornherein im Zentrum des vom CT erfassten und abgebildeten Bereichs des Untersuchungsobjektes befindet; die Erfindung ermöglicht von vornherein eine "Zentrierung" der Soll-Position der Struktur in dem vom CT erfassbaren Bereich.

[0055] Gemäss einer Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt wird, so dass die relative laterale Auflösungsfähigkeit der aktiven Detektorfläche vollständig zur Erfassung des Toleranzvolumens ausgenutzt wird. In diesem Fall ist der Computer-Tomograph so steuerbar, dass bei zentrischer Projektion

des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt ist.

[0056] Gemäss einer anderen bevorzugten Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind, oder der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der grösste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind.

[0057] Gemäss einer weiteren Variante wird der Computer-Tomograph so gesteuert, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind.

[0058] In einer Variante ist der Computer-Tomograph so steuerbar, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind, oder der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der grösste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind.

[0059] Gemäss einer weiteren Variante ist der Computer-Tomograph so steuerbar, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle als Projektionszentrum der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind.

[0060] Auf diese Weise kann der zur Erstellung des CT-Bildes verwendete Vergrösserungsfaktor so an die Abmessungen des Bildfeldes und an die Grösse des Toleranzvolumens angepasst werden, dass die Projektion des Toleranzvolumens im wesentlichen mit der Grösse des Bildfeldes übereinstimmt. Der Vergrösserungsfaktor kann auf diese Weise vorteilhaft so gewählt werden, dass er der grösstmögliche ist bei welchem das Toleranzvolumens gerade noch vollständig als Ganzes vom CT erfassbar ist, so dass sich die Struktur vorteilhafterweise von vornherein im dem vom CT erfassten und abgebildeten Bereich befindet. Auch bei hohem Vergrösserungsfaktor besteht daher keine Gefahr, dass sich die Struktur ausserhalb des vom CT erfassbaren Bereiches befindet. Hierbei wird die relative laterale Auflösungsfähigkeit der aktiven Detektorfläche weitgehend zur Erfassung des Toleranzvolumens ausgenutzt.

[0061] Das Untersuchungsobjekt kann z. B. eine Kfz-Einspritzdüse mit einer typischen Länge von 50 mm und einem typischen mittleren Durchmesser von 25 mm sein. Die zu untersuchende Struktur kann z. B. die Einspritzdüse eingebrachte Bohrung von einigen Millimetern Länge sein.

[0062] Die Soll-Position der Struktur ist bei solchen Strukturen, welche gezielt an Objekten angebracht werden, wie beispielsweise die Bohrung einer Einspritzdüse, ebenfalls von vornherein bekannt. In vielen Fällen erfolgt die Produktion derartiger Objekte mit grosser Präzision, d. h. mit sehr geringen Toleranzen zwischen Soll- und Ist-Position, so dass das Toleranzvolumen sehr klein ist und der Vergrösserungsfaktor vorteilhafterweise entsprechend hoch gewählt werden kann.

[0063] Gemäss einer Variante wird

A) das Untersuchungsobjekt zur Erstellung des CT-Bildes schrittweise um eine Rotationsachse gedreht, B) für jede der so durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes mit dem Detektor ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes aufgenommen wird, und C) aus den so erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern das dreidimensionale CT-Bild erstellt wird.

[0064] Gemäss einer weiteren Variante wird

D) das Untersuchungsobjekt nach Ausführung der Schritte A) und B) um eine bestimmte Strecke vorzugsweise in einer Richtung parallel zur Rotationsachse translatorisch verschoben und danach erneut schrittweise um die Rotationsachse gedreht wird;

- E) für jede der im Schritt D) durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes mit dem Detektor wiederum ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes aufgenommen wird, und
- F) aus den im Schritt E) erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern ein weiteres dreidimensionales CT-Bild erstellt wird.

[0065] Die Schritte D) bis F) können mehrmals wiederholt werden.

[0066] Gemäss einer anderen Variante der Erfindung wird das Untersuchungsobjekt zur Erstellung eines dreidimensionalen CT-Bildes nicht nur schrittweise um einen vorgebbaren Drehwinkel gedreht, sondern nach jedem dieser Rotationsschritte um eine bestimmte Strecke translatorisch verschoben, so dass die auf der Drehachse liegenden Punkte des Untersuchungsobjektes eine im wesentlichen spiralförmige Bahn beschreiben.

[0067] Aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz kann zusätzlich zur Lage der Struktur auch die Form der Struktur ermittelt werden. Beispielsweise kann die Form der Begrenzungsfläche einer kleinen Bohrung einer Einspritzdüse mit Hilfe der Erfindung sehr genau vermessen werden. Die Soll-Lage der Struktur kann dabei auf einen ausgewählten Punkt der Struktur bezogen sein, wobei die Koordinaten weiterer Punkte der Struktur relativ zu diesem Punkt der Struktur aus dem CT-Bild bestimmt werden können. Die so ermittelten Koordinaten von Punkten der Struktur können z. B. zur Parametrisierung der Form der Struktur herangezogen werden.

[0068] Gemäss einer anderen Variante wird aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz anstelle der Lage der Struktur die Form der Struktur ermittelt.

[0069] Die relative Lage und die relative Orientierung zwischen MG-Koordinatensystem und CT-Koordinatensystem lässt sich bestimmen, indem die Lage von mindestens drei, vorzugsweise von mindestens vier ausgewählten Aufpunkten eines Kalibrierobjektes sowohl mit dem Computer-Tomographen im CT-Koordinatensystem als auch mit dem Koordinaten-Messgerät im MG-Koordinatensystem bestimmt wird. Aus dem Vergleich der so erhaltenen Ergebnisse können die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber MG-Koordinatensystem, z. B. eine Transformationsmatrix zur Überführung dieser beiden Koordinatensysteme ineinander, ermittelt werden. Werden mehr als drei Aufpunkte auf die genannte Weise eingemessen, so ist die genannte Koordinatentransformation mathematisch überbestimmt; die redundanten Ergebnisse lassen sich jedoch vorteilhaft zur Verringerung des mittleren Fehlers und damit zur Erhöhung der erzielten Genauigkeit kombinieren.

[0070] Das Untersuchungsobjekt und das Kalibrierobjekt können selbstverständlich identisch sein. Eher können die ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes mit den zu gegenseitigen Einmessung der beiden Koordinatensysteme verwendeten Aufpunkten zusammenfallen.

[0071] Gemäss einer bevorzugten Variante sind der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmessgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert.

[0072] Fig. 1 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemässen Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes 1 in einem Koordinatensystem.

[0073] Die Vorrichtung von Fig. 1 dient zur Bestimmung der Ist-Position und der Form einer Struktur eines Untersuchungsobjektes in einem Koordinatensystem. Die Vorrichtung umfasst einen Computer-Tomographen, im folgenden als CT bezeichnet, mit einem auf diesen bezogenen Koordinatensystem, im folgenden als CT-Koordinatensystem bezeichnet, und ein Multisensor-Koordinatenmessgerät mit einem auf dieses bezogenen Koordinatensystem, im folgenden als MG-Koordinatensystem bezeichnet.

[0074] Der CT umfasst eine Röntgenquelle 5 und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor 6. Die Soll-Position der Struktur ist in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes 1 vorgegeben. Die Ist-Position der Struktur ist um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z. B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist. Die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems

gegenüber dem MG-Koordinatensystem sind bekannt oder durch Einmessung ermittelbar.

[0075] Mittels des Koordinatenmessgerätes ist die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes 1 bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar. Hieraus ist die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar. Die Soll-Position der Struktur ist vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.

[0076] Die Relativposition des Untersuchungsobjektes 1 bezüglich des CT ist unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung 3 so steuerbar, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist.

[0077] Der CT ist imstande, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern, so dass die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

[0078] Die Vorrichtung von Fig. 1 umfasst einen Computer-Tomographen, im Folgenden mit CT abgekürzt, mit einer Röntgenquelle 5 und einem zweidimensional ortsauflösenden Detektor, z. B. eine CCD-Matrix 6, welche für die von der Röntgenquelle 5 abgegebene harte Röntgenstrahlung von typischerweise z. B. 450 keV empfindlich ist. Die Vorrichtung von Fig. 1 umfasst ferner eine Sensor-Kamera-Einheit 4, welche oberhalb des Untersuchungsobjektes 1 angeordnet ist und einen mechanischen Taster, einen Lasertaster sowie zwei Kameras umfasst und Teil eines Multisensor-Koordinatenmessgerätes ist.

[0079] Das Untersuchungsobjekt 1 befindet sich auf einem Rotationstisch 2, welcher schrittweise rotiert und seinerseits an einem Verfahrtisch 3 angeordnet ist. Der Rotationstisch 2 ist ferner gegenüber dem Verfahrtisch 3 aufwärts und abwärts translatorisch verfahrbar, was in Fig. 1 durch einen senkrechten Doppelpfeil angedeutet ist.

[0080] Der Verfahrtisch verfügt über einen Antrieb 9 und ist zweidimensional translatorisch verfahrbar, nämlich in der zu dem Doppelpfeil von Fig. 1 senkrechten Ebene. Die Röntgenquelle 5, die CCD-Matrix 6, die Sensor-Kamera-Einheit 4 sowie der Verfahrtisch 3 sind an einem gemeinsamen Montagerahmen 7 angeordnet, welcher auf einem nivellierbaren Unterbau 8 ruht. Durch Verfahren des Verfahrtisches 3 in Richtung auf die Röntgenquelle 5 wird der Vergrößerungsfaktor erhöht; durch Verfahren des Verfahrtisches 3 in die umgekehrte Richtung wird der Vergrößerungsfaktor verringert.

[0081] Das Untersuchungsobjekt 1 ist zwischen Röntgenquelle 5 und CCD-Matrix 6 angeordnet und wird zur Erstellung eines CT-Bildes mit der Röntgenstrahlung der Röntgenquelle 5 durchstrahlt, danach durch Drehen des Rotationstisches 2 um z. B. 0,9[deg.] gedreht und durch Verfahren des Verfahrtisches 3 um eine bestimmte Strecke translatorisch verschoben und erneut durchstrahlt, usw.

[0082] Für jede der so durchlaufenden Stellungen des Untersuchungsobjektes 1 wird mit der CCD-Matrix 6 ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes 1 aufgenommen und aus der so gewonnenen Vielzahl von zweidimensionalen Einzelbildern wird ein dreidimensionales digitales Bild des vom CT erfassten Bereiches des Untersuchungsobjektes 1 berechnet.

[0083] Diese Berechnung wird durch einen Berechnungs- und Steuerungscomputer 10 ausgeführt, welcher zugleich zur Steuerung des Rotationstisches 2, des Verfahrtisches 3, der Sensor-Kamera-Einheit 4 und der Röntgenquelle 5 dient und zu diesem Zweck über Leitungen 13, 14, 15, 16 mit den genannten Komponenten verbunden ist. Die Röntgenquelle wird durch ein Anschlusskabel 11 mit elektrischer Energie versorgt und ist imstande, einen das Untersuchungsobjekt 1 erfassenden Röntgenstrahlenkegel auszusenden.

[0084] Der CT umfasst die Röntgenquelle 5, die CCD-Matrix 6, den Berechnungs- und Steuerungscomputer 10, den Rotationstisch 2, den Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, den Montagerahmen 7 und seinen Unterbau 8.

[0085] Das Multisensor-Koordinatenmessgerät umfasst die Sensor-Kamera-Einheit 4, den Berechnungs- und Steuerungscomputer 10, den Rotationstisch 2, den Verfahrtisch 3 mit seinem Antrieb 9, den Montagerahmen 7 und seinen Unterbau 8.

[0086] Der Berechnungs- und Steuerungscomputer 10, der Rotationstisch 2, der Verfahrtisch 3 mit seinem

Antrieb 9, der Montagerahmen 7 und sein Unterbau 8 gehören demnach sowohl zum CT als auch zum Multisensor-Koordinatenmessgerät. In der Vorrichtung von Fig. 1 sind somit erfindungsgemäss der CT und das Multisensor-Koordinatenmessgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert.

[0087] Die gewerbliche Anwendbarkeit der Erfindung besteht darin, dass dieselbe in der zerstörungsfreien Prüfung und Überwachung von Gegenständen, insbesondere von Serienteilen, anwendbar ist. Ebenso ist die Erfindung in der Medizintechnik sowie zerstörungsfreier Werkstoffprüfung anwendbar zum Orten und Vermessen von inneren Strukturen. Die besondere Nützlichkeit der Erfindung besteht darin, dass eingeschlossene Strukturen eines Objektes, zum Beispiel Lunker oder Hohlräume, ohne Zerstörung oder Öffnen des Objektes geortet und gegenüber dem Stand der Technik auf Anhieb mit hoher Genauigkeit vermessen werden können.

Bezugszeichenliste

- 1 Untersuchungsobjekt
- 2 Rotiertisch
- 3 Verfahrtisch
- 4 Sensor-Kamera-Einheit
- 5 Röntgenquelle
- 6 CCD-Matrix
- 7 Montagerahmen
- 8 Unterbau
- 9 Antrieb für den Verfahrtisch
- 10 Berechnungs- und Steuerungscomputer
- 11 Anschlusskabel der Röntgenquelle
- 12 Röntgenstrahlenkegel aus der Röntgenquelle
- 13-16 Leitungen

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Claims of DE10331419

1. Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf der Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei
 - a) im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts (1) bestimmt werden,
 - b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben wird,
 - c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im MG-Koordinatensystem bestimmt wird,
 - d) und das Untersuchungsobjekt (1) unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt.
2. Verfahren zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, wobei ein Computer-Tomograph in Anwendung der CT-Technik mit einem auf der Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem, und ein Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktiles oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei

- a) im CT-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts (1) bestimmt werden,
 - b) eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben wird,
 - c) die Soll-Position nach Ausführung der Schritte a) und b) im CT-Koordinatensystem bestimmt wird,
 - d) und das Untersuchungsobjekt (1) unter Verwendung des Ergebnisses von Schritt c) so positioniert wird, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereichs zu liegen kommt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert wird, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert wird, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegen.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
 - das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert wird, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Toleranzvolumen eine Kugel, Toleranzkugel, ist, deren Mittelpunkt mit der Soll-Position zusammenfällt und deren Radius durch den Betrag der maximalen Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur vorgegeben ist.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positioniert wird, dass das vom Computer-Tomographen erfasste Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise grösser als 1 ist.
8. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert wird, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält,
 - bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert wird, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich liegen,
 - die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzbereichs befindet, dessen Rand um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
 - das Untersuchungsobjekt (1) mit Hilfe des Computer-Tomographen so positioniert wird, dass der Toleranzbereich vollständig in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem vorgegeben sind oder durch Einmessung ermittelt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 3 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass
- (i) mittels des Koordinatenmessgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt wird,
 - (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der im Schritt (i)

erzielten Messergebnisse berechnet wird, und

(iii) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet wird, so dass anschliessend die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bekannt ist.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt (1) gegenüber dem Computer-Tomographen unter Verwendung der gemäss Schritt (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so gesteuert wird, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen befindet.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass

(i) mittels des Computer-Tomographen die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des CT-Koordinatensystems bestimmt wird,

(ii) die auf das CT-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der im Schritt (i) erhaltenen Messergebnisse berechnet wird,

(iii) die Soll-Position der Struktur vom CT-Koordinatensystem auf das MG-Koordinatensystem umgerechnet wird, so dass anschliessend die Lage der Soll-Position im MG-Koordinatensystem bekannt ist.

(iv) das Untersuchungsobjekt (1) gegenüber dem Koordinatenmessgerät unter Verwendung der gemäss Schritt (iii) erhaltenen, auf das MG-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so gesteuert wird, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Koordinatenmessgerät erfassbaren Bereich befindet, und

(v) mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes ein dreidimensionales digitales Bild des Toleranzbereichs einschliesslich der Struktur erstellt und als MG-Datensatz gespeichert und die Ist-Position der Struktur im MG-Koordinatensystem aus dem MG-Datensatz bestimmt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- als Computer-Tomograph ein solcher verwendet wird, welcher eine Röntgenquelle (5) und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor (6) aufweist, welcher eine aktive Detektorfläche besitzt, die die von der Röntgenquelle (5) abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist, wobei das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Grösse der aktiven Detektorfläche gegeben ist,

- die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z. B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und

- die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt sind oder durch Einmessung ermittelt werden, und folgende Schritte ausgeführt werden:

a) Mittels des Koordinatenmessgerätes wird die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmt,

b) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur wird mit Hilfe der im Schritt a) erhaltenen Messergebnisse berechnet,

c) die Soll-Position der Struktur wird vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umgerechnet, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bekannt ist,

d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des Computer-Tomographen wird unter Verwendung der gemäss Schritt c) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so gesteuert, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist,

e) mit Hilfe des Computer-Tomographen wird ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur erstellt und als CT-Datensatz gespeichert, und

f) die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem wird aus dem CT-Datensatz bestimmt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Toleranzvolumen eine Toleranzkug ist, so dass deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph im Verfahrensschritt d) so gesteuert wird, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen in Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfassbaren Volumens befindet.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so gesteuert wird, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenqu (5) als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so gesteuert wird, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenqu (5) als Projektionszentrum

- der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind, oder

- der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der grösste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind, oder

- der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind,

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz zusätzlich zur Lage der Struktur auch die Form der Struktur ermittelt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem CT-Bild oder dem CT-Datensatz anstelle der Lage der Struktur die Form der Struktur ermittelt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage von mindestens drei, vorzugsweise von mindestens vier ausgewählten Aufpunkten eines Kalibrierobjektes sowohl mit dem Computer-Tomographen im CT-Koordinatensystem als auch mit dem Koordinatenmessgerät im MG-Koordinatensystem bestimmt wird und aus dem Vergleich der so erhaltenen Ergebnisse die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber MG-Koordinatensystem ermittelt werden.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt (1) und das Kalibrierobjekt identisch sind.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass

A) das Untersuchungsobjekt (1) zur Erstellung des CT-Bildes schrittweise um eine Rotationsachse gedreht wird,

B) für jede der so durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes (1) mit dem Detektor (6) ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes (1) aufgenommen wird und

C) aus den so erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern das dreidimensionale CT-Bild erstellt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass

D) das Untersuchungsobjekt (1) nach Ausführung der Schritte A) und B) um eine bestimmte Strecke vorzugsweise in einer Richtung parallel zur Rotationsachse translatorisch verschoben und danach erneut schrittweise um die Rotationsachse gedreht wird;

E) für jede der im Schritt D) durchlaufenen Rotationsstellungen des Untersuchungsobjektes mit dem Detektor (6) wiederum ein zweidimensionales Durchstrahlungs-Röntgenbild des Untersuchungsobjektes (1) aufgenommen wird, und

F) aus den im Schritt E) erhaltenen zweidimensionalen Durchstrahlungs-Röntgenbildern ein weiteres dreidimensionales CT-Bild erstellt wird.

25. Vorrichtung zur Bestimmung der Ist-Position einer Struktur eines Untersuchungsobjektes (1) in einem Koordinatensystem, mit

- einem Computer-Tomograph mit einem auf den Computer-Tomographen bezogenen ersten Koordinatensystem, CT-Koordinatensystem,
 - und einem Koordinatenmessgerät, welches entweder ein taktils oder optisches Koordinatenmessgerät oder ein Multisensor-Koordinatenmessgerät oder ein Ultraschall-Koordinatenmessgerät ist, mit einem auf dieses bezogenen zweiten Koordinatensystem, MG-Koordinatensystem, verwendet werden, wobei im MG-Koordinatensystem die Koordinaten des Untersuchungsobjekts (1) bestimmbar sind und eine Soll-Position der Struktur innerhalb des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist, so dass
 - die Soll-Position im MG-Koordinatensystem bestimmbar ist
 - und das Untersuchungsobjekt (1) so positionierbar ist, dass die Soll-Position der Struktur innerhalb des vom Computer-Tomographen erfassten Volumens zu liegen kommt, wobei der Computer-Tomograph und das Multisensor-Koordinatenmessgerät zu einer einzigen Vorrichtung integriert sind.
26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass bei in Bezug auf mindestens drei ausgewählte nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjekts (1) vorgegebener Soll-Position der Struktur das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar ist, dass mindestens ein Teil des Untersuchungsobjekts (1) in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt und dieser Teil des Untersuchungsobjekts (1) die Soll-Position der Struktur enthält.
27. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass bei vorgegebener maximaler Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur des Untersuchungsobjekts (1) dasselbe mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar ist, dass sowohl die Soll-Position als auch die Ist-Position der Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegen.
28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Ist-Position um höchstens eine vorgegebene Toleranzabweichung von der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens eine Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
 - das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar ist, dass das Toleranzvolumen vollständig in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen liegt.
29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass das Toleranzvolumen eine Kugel, Toleranzkugel, ist, deren Mittelpunkt mit der Soll-Position zusammenfällt und deren Radius durch den Betrag der maximalen Abweichung der Soll-Position von der Ist-Position der Struktur vorgegeben ist.
30. Vorrichtung nach Anspruch 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt mit Hilfe des Koordinatenmessgerätes so positionierbar ist, dass das vom Computer-Tomographen erfasste Volumen höchstens den x-fachen Rauminhalt der Toleranzkugel bzw. des Toleranzvolumens besitzt, wobei x eine vorgebbare Zahl vorzugsweise grösser als 1 ist.
31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die relative Lage und Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem vorgegeben sind oder durch Einmessung ermittelbar sind.
32. Vorrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass
- (i) mittels des Koordinatenmessgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar ist,
 - (ii) die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur mit Hilfe der gemäss (i) erzielten Messergebnisse berechenbar ist, und
 - (iii) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar ist, so dass die Lage der Soll-Position im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist.
33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass das Untersuchungsobjekt (1) gegenüber dem Computer-Tomographen unter Verwendung der gemäss Schritt (iii) erhaltenen, auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in dem vom Computer-Tomographen erfassten Volumen befindet.
34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 25 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass mit Hilfe des Computer-Tomographen ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich

der Struktur erstellbar und als CT-Datensatz speicherbar und die Ist-Position der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar ist.

35. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Computer-Tomograph eine Röntgenquelle (5) und einen zweidimensional ortsauflösenden Detektor (6) aufweist, der eine aktive Detektorfläche besitzt, die für die von der Röntgenquelle (5) abgegebene Röntgenstrahlung empfindlich ist,
- das Bildfeld des Computer-Tomographen durch die Grösse der aktiven Detektorfläche gegeben ist,
- die Soll-Position der Struktur in Bezug auf mindestens drei ausgewählte, nicht kollineare Punkte des Untersuchungsobjektes (1) vorgegeben ist und die Ist-Position um höchstens eine Toleranzabweichung der Soll-Position verschieden ist, so dass sich die Ist-Position innerhalb eines z. B. kugelförmigen Toleranzvolumens befindet, dessen Rand um höchstens die Toleranzabweichung von der Soll-Position entfernt ist, und
- die relative Lage und die relative Orientierung des CT-Koordinatensystems gegenüber dem MG-Koordinatensystem bekannt oder durch Einmessung ermittelbar sind,

wobei

- a) mittels des Koordinatenmessgerätes die Lage der mindestens drei ausgewählten Punkte des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des MG-Koordinatensystems bestimmbar ist,
- b) hieraus die auf das MG-Koordinatensystem bezogene Soll-Position der Struktur berechenbar ist,
- c) die Soll-Position der Struktur vom MG-Koordinatensystem auf das CT-Koordinatensystem umrechenbar ist, so dass die Lage derselben im CT-Koordinatensystem bestimmbar ist,
- d) die Relativposition des Untersuchungsobjektes (1) bezüglich des Computer-Tomographen unter Verwendung der auf das CT-Koordinatensystem bezogenen Soll-Position der Struktur mittels einer Vorrichtung (3) so steuerbar ist, dass sich das Toleranzvolumen und daher auch die Struktur in demjenigen Volumen befindet, welches der Computer-Tomograph zu erfassen imstande ist, und
- e) der Computer-Tomograph imstande ist, ein dreidimensionales digitales CT-Bild des Toleranzvolumens einschliesslich der Struktur zu erstellen und als CT-Datensatz zu speichern, so dass die Ist-Position sowie die Form der Struktur im CT-Koordinatensystem aus dem CT-Datensatz bestimmbar sind.

36. Vorrichtung nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass das Toleranzvolumen eine Toleranzkugel ist, so dass deren Radius durch die Toleranzabweichung und deren Mittelpunkt durch die Soll-Position gegeben ist.

37. Vorrichtung nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so steuerbar ist, dass sich das Zentrum des Toleranzvolumens im wesentlichen im Zentrum des von dem Computer-Tomographen erfassbaren Volumens befindet.

38. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so steuerbar ist, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum das Bildfeld durch die Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor vollständig ausgefüllt ist.

39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass der Computer-Tomograph so steuerbar ist, dass bei zentrischer Projektion des Toleranzvolumens mit der Röntgenquelle (5) als Projektionszentrum

- der kleinste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind, oder
- der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der grösste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind, oder
- der grösste Durchmesser der Projektion des Toleranzvolumens auf den Detektor und der kleinste Durchmesser des Bildfeldes des Computer-Tomographen im wesentlichen gleich gross sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide